



## **9662 AVERIGUAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA COMO ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONCRETO**

### **André Schramm Brandão<sup>(1)</sup>**

Graduado em engenharia civil e doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais na Universidade Federal do Ceará. Especialista em construção e montagem pelo PROMINP/PETROBRAS/UFC. Professor visitante desde 2005 do curso de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade de Fortaleza. Engenheiro III (Sênior) da Companhia de água e esgoto do Ceará, aonde atuou como gerente de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica 2015/2016.

### **Ênio Pontes de Deus<sup>(2)</sup>**

Professor Doutor Associado IV do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará. É vice-coordenador do curso de graduação e atua no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Coordenador do Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga (LAMEFF/UFC).

### **Antônio Eduardo Bezerra Cabral<sup>(3)</sup>**

Professor Doutor Associado do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará. Atua principalmente nas seguintes áreas: diagnóstico de manifestações patológicas em edificações, reparo e reforço do concreto armado, tecnologia do concreto e de argamassas, uso de materiais não convencionais na construção civil e gestão de resíduos sólidos da construção civil.

### **Wyoskynaria Mihaly Maia da Silva<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Civil na Universidade Federal do Ceará. Estagiária da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará desde 2017.

### **Francisco Altanázio Batista de Castro Júnior<sup>(5)</sup>**

Graduando em Engenharia Civil na Universidade Federal do Ceará. Estagiário da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará desde 2018.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Lauro Vieira Chaves, 1030, Cagece, Gerência de Obras do Interior – Vila União - Fortaleza - Ceará - CEP: 60422-700 - Brasil - Tel: +55 (85) 999984-5554 - e-mail: [andresb@alu.ufc.br](mailto:andresb@alu.ufc.br).

## **RESUMO**

Em decorrência do elevado crescimento populacional e da constante escassez de recursos hídricos, principalmente no Nordeste brasileiro, o uso de água para fins diferentes do abastecimento humano vem sendo investigado. Este trabalho avalia a viabilidade técnica da água do efluente secundário de esgoto para produção de concreto com o propósito de oferecer um destino sustentável para as águas da indústria do saneamento. A água em análise foi coletada na disposição final da Estação de Tratamento de Esgoto Marechal Rondon na região metropolitana de Fortaleza, para a qual foi observada completa adequação aos parâmetros da NBR 15.900 de água para amassamento de concreto. Foram produzidos corpos de prova cilíndricos de concreto com a utilização da água de efluente e com água destilada, sendo realizados ensaios de resistência a compressão axial aos 3, 7, 28 e 56 dias, bem como ensaios de massa específica, índice de vazios e absorção. Através de uma análise estatística de variância (teste ANOVA) observou-se que não houve diferença significativa entre os dois tipos de concreto para as propriedades estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade hídrica, água residuária, reúso, concreto.

## **INTRODUÇÃO**

A água é um recurso natural essencial à vida, além de possuir valor econômico e social. Tal recurso, porém, é mal distribuído temporal e espacialmente. No Brasil, cerca de 80% da reserva hídrica do país se encontra na Região Amazônica, que abriga cerca de 5% da população, enquanto que os 20% restantes devem atender ao restante do país (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A Região Nordeste do país sofre com escassez hídrica constante. Segundo dados da Agência Nacional de Águas, entre 2003 e 2016 cerca de 80% dos municípios nordestinos declararam Estado de Calamidade Pública ou Situação de Emergência devido a problemas com a seca. Os reduzidos valores de disponibilidade hídrica podem ser explicados pelos baixos índices pluviométricos, irregularidade no regime de chuvas, altas taxas de



insolação e evapotranspiração, além de a região apresentar temperaturas elevadas ao longo de todo o ano (BRASIL, 2017).

Nesse cenário, o reúso da água se apresenta como uma maneira viável para atenuar o problema da falta de água. Com a prática, as águas de melhor qualidade podem ser preservadas para fins mais nobres, diminuindo o conflito pelos usos da água (CAIXETA, 2010). Segundo HESPANHOL (2003), a indústria da construção civil é um dos setores onde o reúso pode ser viabilizado, incluindo para as atividades de produção e cura de concreto. De acordo com MEYER em estudo publicado em 2004, a indústria do concreto consome cerca de 3,79 trilhões de litros de água por ano, sem incluir a quantidade utilizada para lavagem de equipamentos e agregados.

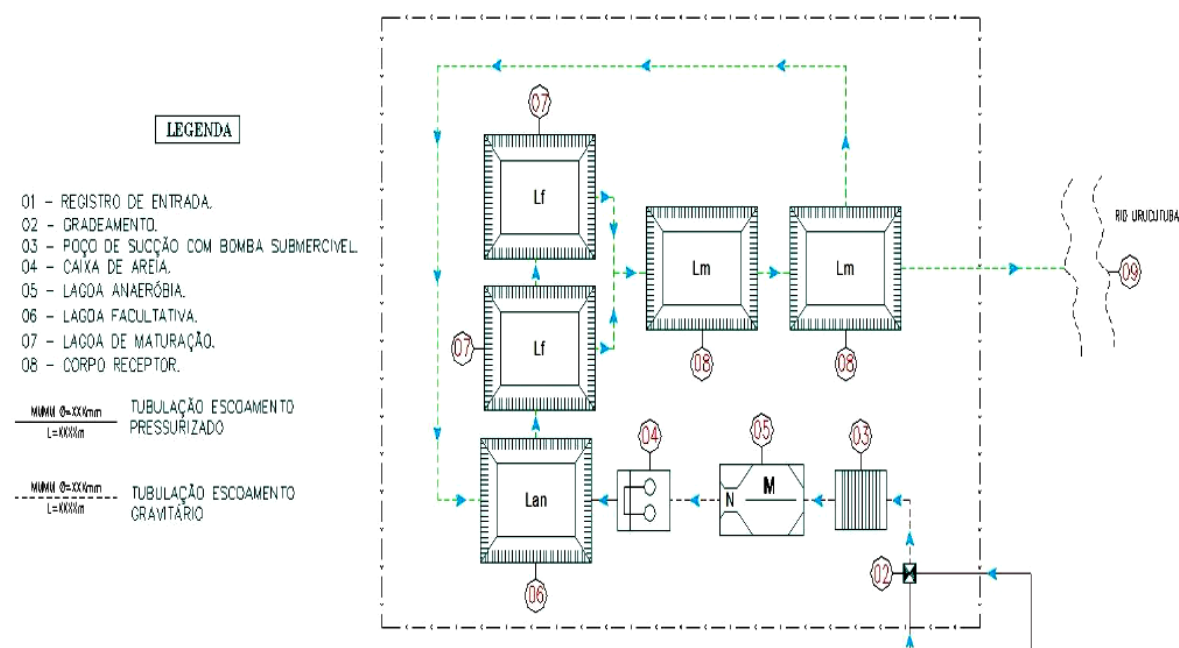
Na produção do concreto a água é utilizada em quatro etapas, sendo elas: lavagem dos agregados, amassamento do concreto, limpeza dos equipamentos e cura, cujos requisitos são similares, porém não idênticos (NEVILLE, 2000). Para cada litro de água utilizada para produzir concreto e materiais similares, como argamassas, é necessário 2,5 vezes mais litros de água para as atividades periféricas (HANNAD *et al*, 2013).

As regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, não são as únicas a sofrer com a falta de água, apesar de o problema ser mais contundente. O reúso vem sendo avaliado também por locais onde os recursos existentes não são suficientes para atender a elevada demanda. Tem-se, portanto, um ambiente favorável para avaliar a prática do reúso na construção civil.

SILVA e NAIK (2010) afirmam que mais pesquisas são necessárias sobre o reúso da água na indústria do concreto – no Brasil, são poucos os trabalhos publicados sobre o tema. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da utilização de águas residuárias para produção de concreto, à luz da NBR 15.900, sendo a água escolhida o efluente secundário da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Marechal Rondon.

#### MATERIAIS E METODOLOGIA UTILIZADA

Foram utilizadas duas águas para a realização desta pesquisa. A primeira é a água destilada e a principal é a água proveniente da ETE Marechal Rondon, localizada no município de Caucaia, na Região Metropolitana de Fortaleza. A estação é de grande porte, composta por grade, caixa de areia, calha Parshall, uma lagoa anaeróbia, duas lagoas facultativas em paralelo e duas lagoas de maturação em série, sendo o Riacho Urucutuba o corpo receptor. A Figura 01 abaixo apresenta o fluxograma do tratamento de esgoto na estação.



**Figura 01 – Fluxograma do processo de tratamento de esgoto na ETE Marechal Rondon.**



A amostra foi coletada na saída da última lagoa de maturação, antes de ser depositada no corpo hídrico. Tal efluente vêm atendendo aos parâmetros de lançamento regulamentados pela Portaria 154/02 da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMACE).

Foram realizados ensaios de análise físico-química da água de efluente, segundo os parâmetros estabelecidos na NBR 15.900, sendo eles: óleos e gorduras, detergentes, cor, material sólido, odor, matéria orgânica, cloretos, sulfatos, álcalis, açúcares, fosfatos, nitratos, zinco, chumbo e pH. Para que seja aceita como água de amassamento, ela deve atender a todos os requisitos. Segundo a referida norma, a água destilada é considerada adequada, não necessitando ser ensaiada. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento (LABOSAN) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e no Laboratório Central da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), para maior controle dos dados.

Conforme as diretrizes da norma de água para amassamento, a fim de verificar possíveis alterações devidas a substituição da água, foi realizado o ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega para as duas pastas de cimento, uma executada com a água de efluente e a segunda com a água destilada, cujo resultado foi admitido como valor de referência. O ensaio foi executado conforme o procedimento descrito na norma NBR 16.607:2017 no Laboratório de Materiais e Construção Civil (LMCC) da UFC.

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland tipo composto com pozolana de classe 32 MPa (CP II Z 32) da fabricante Poty. As Tabelas 01 e 02 a seguir apresentam os valores dos requisitos químicos, físicos e mecânicos do aglomerante exigidos pela NBR 11.578:1997 de acordo com o relatório técnico fornecido pela Poty.

**Tabela 01 – Requisitos químicos para o aglomerante tipo CP II Z 32, segundo a NBR 11.578:1997**

	Resíduos insolúveis (%)	Perda ao fogo (%)	Óxido de magnésio (%)	Trióxido sulfúrico (%)	Dióxido de carbono (%)
Valores normalizados	≤ 16	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4	≤ 5
Valores experimentais	11,82	5,62	2,57	3,59	-

**Tabela 02 – Requisitos físicos e mecânicos para o aglomerante tipo CP II Z 32, segundo a NBR 11.578:1997**

	Finura		Tempo de pega (h)		Expansibilidade (mm)		Resistência à compressão (MPa)		
	R.P.(%)	Área esp. (m <sup>2</sup> /kg)	Início	Fim	A frio	A quente	3 dias	7 dias	28 dias
Valores normalizados	≤ 12	≥ 260	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 10	≥ 20	≥ 32
Valores experimentais	1,33	491,1	2,47	3,47	-	0,39	25,46	29,67	35,30

Legenda: R.P. é o resíduo sólido retido na peneira de abertura 75mm e Área esp. é a área específica do material.

Os agregados utilizados para a execução dos concretos possuem as características apresentadas nas Tabelas 03 e 04 a seguir. Para obtenção dos parâmetros, foram realizados os ensaios de granulometria e determinação da massa específica.

**Tabela 03 – Características do agregado miúdo utilizado.**

Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de finura	Dimensão máxima característica (mm)
2,57	1,51	2,60	4,80

**Tabela 04 – Características do agregado graúdo utilizado.**

Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica saturada de superfície seca (g/cm <sup>3</sup> )	Dimensão máxima característica (mm)
1,50	2,61	2,67	9,50



Foi efetuada uma dosagem experimental para um concreto com resistência à compressão característica ( $f_{ck}$ ) de 20 MPa e abatimento de tronco de cone de  $100 \pm 20$  mm de acordo com o método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). O traço definido foi o apresentado na Tabela 05 abaixo:

**Tabela 05 – Traço de concreto utilizado na pesquisa**

	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Água</b>
Traço unitário	1	1,85	2,02	0,56
Consumo por m <sup>3</sup>	420	777	848	235

Foram executados dois tipos de concreto, partindo do mesmo traço piloto e utilizando os mesmos materiais, à exceção da água de amassamento. Um deles foi realizado com a água de efluente e o segundo foi realizado com a água destilada, cujos resultados foram admitidos como os valores de referência para a análise dos dados.

No estado fresco, foi executado o ensaio de abatimento de tronco de cone, de acordo com o procedimento descrito na NBR NM 67:1998, a fim de avaliar a trabalhabilidade do concreto no estado plástico e avaliar se os dois concretos obtiveram abatimento dentro do intervalo dimensionado.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20) cm, segundo o procedimento contido na NBR 5.738, para possibilitar a avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido e a influência do tipo de água sobre elas. Após 24h, os corpos de prova foram retirados dos moldes e colocados em cura úmida até a data dos ensaios.

Aos 28 dias, foi realizado o ensaio de determinação das propriedades físicas do concreto, sendo elas a massa específica, o índice de vazios e a absorção por imersão, de acordo com as diretrizes da NBR 9.778. O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado aos 3, 7, 28 e 56 dias, como prescrito na NBR 5.739. Cada ensaio foi realizado para três amostras, no Laboratório de Materiais e Construção Civil da UFC.

Foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA) com os resultados obtidos para verificar se as diferenças encontradas foram significativas através da comparação dos valores calculados e tabelados por meio do teste de Fisher (MONTGOMERY, 1997). O fator controlável selecionado foi o tipo de água de amassamento.

## **APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

De acordo com a norma NBR 15.900 a água destilada é adequada para produção de concreto, não necessitando ser avaliada, e deve ser usada como referência para o estudo de viabilidade de outro tipo de água de amassamento.

Essa seção do artigo será dividida em dois subgrupos de resultados: a análise da água residuária e a análise do concreto.

### **• Análise da água residuária**

A Tabela 06 a seguir apresenta os resultados da análise físico-química realizada para a água de efluente, bem como os limites de tolerância aceitos pela NBR 15.900, que preconiza que para a água ser aceita ela deve atender a todos os requisitos.

Com o objetivo de comparação, também são apresentados os valores limites estabelecidos pela norma europeia BS EN 1.008, publicada em 2002 pelo British Standards Institution (BSI). Para ela, a água pode ser utilizada para amassamento nas quantidades que garantem que os limites sejam obedecidos.

Analisando a Tabela 05 observa-se total observância da água residuária aos parâmetros de ambas as normas, exceto pelo valor de pH e da cor. que superou o limite imposto pela NBR 15.900. Entretanto, segundo MOHAMMAD *et al* (2011), essa pequena diferença não interfere negativamente nas propriedades do concreto, o que foi reiterado pelos resultados dos ensaios que serão apresentados na próxima seção.



O teor de sulfatos presentes na água foi inferior ao limite estabelecido pela norma. Essa é uma característica fundamental, uma vez que a presença de sulfatos, quando em grande quantidade, pode resultar na formação de etringita, normalmente acompanhada por um acréscimo no volume do concreto que provoca fissuração da peça e compromete a durabilidade (YILMAZ *et al*, 1997). EL-NAWAWY e AHMAD (2001) sugerem que, para não afetar negativamente a resistência do concreto, o teor de sulfatos não deve ultrapassar 3.788 mg/L, limite atendido para a água residuária em análise.

Vale ressaltar que a norma brasileira carece de uma atualização, visto que a portaria do Ministério da Saúde que versa sobre os procedimentos de controle e vigilância sanitária e seu padrão de potabilidade já não é a MS 518/2014, e sim a Portaria 2.914/2011.

**Tabela 06 – Análise físico-química da água de efluente.**

Parâmetro	Água de efluente	Limite de tolerância (NBR 15.900)	Limite de tolerância (EN 1.008)
Óleos e gorduras	Ausência	Não mais do que traços visíveis	Apenas traços (quantidades quase imperceptíveis)
Detergentes	Ausência	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos	A espuma deve desaparecer no máximo em 2 minutos
Cor	Verde claro	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser: amarelo claro a incolor	Sem cor, até um amarelo-claro (Exceção: Água recuperada)
Material sólido (mg/L)	716	50.000	≤1% do total de agregado
Odor	Inodoro	Não deve apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico.	Apenas odor de água potável de beber e leve odor de cimento ou de odor de enxofre no caso de Cinzas Volantes (Fly-ash) na água.
pH	9,11	Entre 6 e 9	≥4
Matéria Orgânica	Mais claro	A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH	N.O.
Cloretos (mg/L)	137,43	Concreto protendido (< 500); Concreto armado (< 1.000); Concreto simples (sem armadura (< 500)	≤ 4.500
Sulfatos (mg/L)	31,73	< 2.000	≤ 2.000
Álcalis (mg/L)	458,92	< 1.500	< 1.500
Açúcares (mg/L)	< L.D	< 100	< 100
Fosfatos (mg/L)	Ausência	< 100	< 100
Nitratos (mg/L)	1,18	< 500	< 500
Chumbo (mg/L)	< L.D	< 100	< 100
Zinco (mg/L)	< L.D	< 100	< 100

Legenda: L.D. é o limite de detecção e N.O. significa não observado na referência (norma).



Assim como prescrito na NBR 15.900, foi realizado o ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega a fim de verificar possíveis alterações. Como as amostras não diferiram por mais de 30min, os ensaios foram considerados válidos, de acordo com o procedimento de ensaio prescrito na NBR 16.607. Os resultados estão apresentados na Tabela 07 abaixo.

**Tabela 07 – Tempos de início e fim de pega.**

Tipo de água	Início de pega (min)	Diferença no início de pega (min)	Fim de pega (min)	Diferença no fim de pega (min)
Destilada	115	-	170	-
Efluente	112	-3	179	+9

A NBR 15.900 diz que os tempos de início e fim de pega da pasta preparada com a água residuária não deve diferir mais que 25% do valor encontrado para a água destilada para que possa ser aceita. Os resultados obtidos diferiram apenas 2,60% e 5,3% para o início e fim de pega, respectivamente, atendendo a exigência da norma.

• **Análise do concreto**

Foram executados dois tipos de concreto, utilizando o mesmo traço padrão e os mesmos materiais, a exceção da água. Um foi executado com a água residuária e o segundo foi executado com a destilada, cujos resultados foram tidos como valores de referência.

O primeiro ensaio realizado foi o abatimento de tronco de cone, também conhecido por *slump test*, no concreto fresco para avaliar a trabalhabilidade. Os valores estão apresentados na Tabela 08 a seguir.

**Tabela 08 – Abatimento de tronco de cone.**

Tipo de água	Abatimento (mm)	f <sub>e</sub> /f <sub>d</sub>
Destilada	80	-
Efluente	103	1,29

Observou-se que ambos os concretos apresentaram abatimento dentro do intervalo dimensionado, de  $100 \pm 20$  mm. Nota-se que o concreto produzido com a água de efluente apresentou abatimento 29% superior ao concreto com água destilada. Os abatimentos ocorreram sem cisalhamento ou desagregação dos materiais, apresentando coesão da mistura.

As propriedades físicas dos concretos foram determinadas aos 28 dias, sendo elas a massa específica, o índice de vazios e a absorção, cujo ensaio é regulamentado pela NBR 9.778. O ensaio foi realizado para três amostras de cada concreto. A média dos resultados está disposta na Tabela 09 abaixo.

**Tabela 09 – Propriedades físicas do concreto.**

Tipo de água	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	Índice de vazios (%)	Absorção (%)
Destilada	2,44	10,23	4,67
Efluente	2,43	10,00	4,57

Para verificar se as diferenças encontradas foram significativas, foi realizada uma análise estatística de variância, ANOVA, com os resultados obtidos para cada propriedade. Os resultados do teste ANOVA estão apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12 a seguir. Observou-se que para as três propriedades analisadas, não houve diferença significativa em decorrência do tipo de água de amassamento, o fator controlável escolhido para a análise, uma vez que o valor calculado para o Teste de Fisher foi menor que o valor de referência.

**Tabela 10 – Teste ANOVA para massa específica real.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
Entre grupo	0,0001	1	0,0001	0,6782	7,71
Dentro grupo	0,0004	4	0,0001	-	-
Total	0,0004	5	-	-	-





**Tabela 11 – Teste ANOVA para o índice de vazios.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	0,0000	1	0,0000	0,3606	7,71
<b>Dentro grupo</b>	0,0001	4	0,0000	-	-
<b>Total</b>	0,0001	5	-	-	-

**Tabela 12 – Teste ANOVA para a absorção.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	0,0000	1	0,0000	0,3196	7,71
<b>Dentro grupo</b>	0,0000	4	0,0000	-	-
<b>Total</b>	0,0000	5	-	-	-

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado aos 3, 7, 28 e 56 dias, de acordo com a NBR 5.739. A NBR 15.900 exige que a resistência média à compressão do concreto com água em análise deve ser pelo menos 90% da resistência obtida para o concreto com água destilada aos 7 e aos 28 dias. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 13 abaixo, bem como a relação encontrada entre as resistências.

**Tabela 13 – Resistência à compressão do concreto.**

Tipo de água	Resistência à compressão axial (MPa)			
	3 dias	7 dias	28 dias	56 dias
Destilada	18,85	21,87	22,98	31,80
Efluente	18,44	22,02	23,31	30,08
$f_e/f_d$	0,97	1,01	1,01	0,95

Observou-se que para todas as idades a resistência média do concreto com água residuária foi superior a 90% da resistência do concreto com água destilada, atendendo, portanto, ao requisito da norma. Nota-se, também, que aos 3 dias o concreto com água de efluente já apresentava 92% da resistência característica de 20 MPa, valor ultrapassado para as demais idades, chegando a 30 MPa aos 56 dias.

A fim de avaliar se as diferenças encontradas são significativas, apesar de o requisito da norma já ter sido atendido, foi realizado o teste ANOVA para as diferentes idades, tendo como fator controlável o tipo de água de amassamento. O teste é apresentado nas Tabelas 14, 15, 16 e 17 a seguir.

**Tabela 14 – Teste ANOVA para a resistência aos 3 dias.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	0,2496	1	0,2496	2,3986	7,71
<b>Dentro grupo</b>	0,4162	4	0,1040	-	-
<b>Total</b>	0,6658	5	-	-	-

**Tabela 14 – Teste ANOVA para a resistência aos 7 dias.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	0,0318	1	0,0318	0,4579	7,71
<b>Dentro grupo</b>	0,2780	4	0,0695	-	-
<b>Total</b>	0,3099	5	-	-	-

**Tabela 14 – Teste ANOVA para a resistência aos 28 dias.**

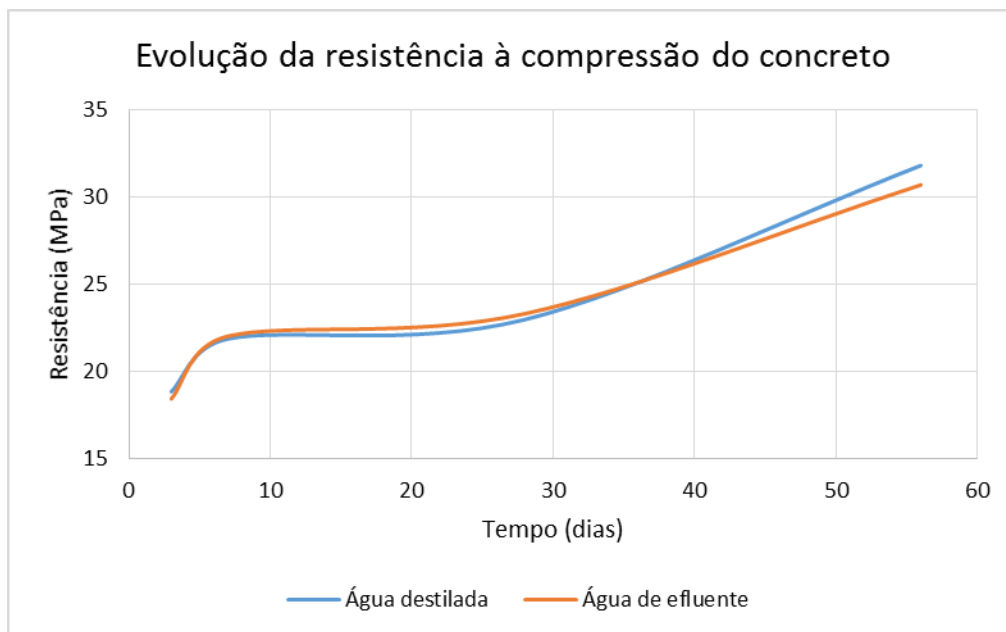
	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	0,1663	1	0,1663	0,3022	7,71
<b>Dentro grupo</b>	2,2010	4	0,5502	-	-
<b>Total</b>	2,3673	5	-	-	-

**Tabela 14 – Teste ANOVA para a resistência aos 56 dias.**

	SQ	GDL	MQ	Teste F	Referência
<b>Entre grupo</b>	1,2378	1	1,2378	6,1284	18,51
<b>Dentro grupo</b>	0,4039	4	0,2020	-	-
<b>Total</b>	1,6417	5	-	-	-



Pela análise estatística, não foram observadas diferenças significativas na resistência em decorrência do tipo de água de amassamento utilizado. A Figura 02 apresenta uma evolução da resistência dos concretos ao longo do tempo, onde se pode ver nitidamente que o crescimento acontece de maneira equivalente para os dois concretos.



**Figura 02 – Evolução da resistência à compressão do concreto.**

## CONCLUSÃO

Diante da situação de estresse hídrico presente especialmente nas regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, o reúso da água se torna uma realidade necessária, sendo a indústria da construção civil um dos setores onde a prática pode ser viabilizada. Entretanto, necessárias maiores investigações sobre a utilização da água residuária como água de amassamento, tema do presente trabalho.

Foi avaliada a água residuária coletada no efluente secundário da ETE Marechal Rondon, que funciona com um sistema de lagoas de estabilização, e mostrou conformidade aos parâmetros da NBR 15.900 e da norma europeia BS EN 1.008, exceto pelo pH e pela cor, que ultrapassaram os limites estabelecidos.

Entretanto, tal diferença não acarretou em variações significativas nos tempos de início e fim de pega, que diferiram apenas 2,60% e 5,3%, respectivamente, em relação aos valores obtidos para a água destilada.

Os resultados obtidos para as propriedades físicas do concreto executado com a água residuária – massa específica, índice de vazios e absorção – não apresentaram diferença significativa em relação aos resultados obtidos para o concreto com água destilada, como verificado pela análise estatística de variância realizada.

O emprego da água residuária também não afetou negativamente a resistência à compressão axial do concreto. Após o teste ANOVA, observou-se que a resistência média do concreto com água residuária foi estatisticamente equivalente a resistência encontrada para o concreto com água destilada.

Desse modo, conclui-se que não houve alteração significativa nas propriedades analisadas em decorrência da substituição do tipo de água de amassamento.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738:2015**: Concreto – Procedimento para moldagem de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 09p.
2. \_\_\_\_\_. **NBR 5.739:2007**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 09p.
3. \_\_\_\_\_. **NBR 9.778: 2009**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 07p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.578:1997**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 05p.
5. \_\_\_\_\_. **NBR 15.900:2009**: Água para amassamento do concreto – Partes de 1 a 11: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 54p.
6. \_\_\_\_\_. **NBR 16.607:2017**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 04p.
7. \_\_\_\_\_. **NBR NM 45:2006**: Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 18p.
8. \_\_\_\_\_. **NBR NM 52:2009**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 13p.
9. \_\_\_\_\_. **NBR NM 53:2003**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 15p.
10. \_\_\_\_\_. **NBR NM 248:2003**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 13p.
11. BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2017**. Brasília: ANA, 2017.
12. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 1008:2002**: Mixing water for concrete. Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. Londres: BSI, 2002. 22 p.
13. CAIXETA, Cláudia Elizângela Tolentino. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão**. 2010. 323 p. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
14. EL-NAWAWY, Omar. A.; AHMAD, Shamim. **Use of treated effluent in concrete mixing in an arid climate**. Cement and Concrete Composites. Volume 13. [S.l.], p. 137-141. 1991.
15. HANNAD, Ben *et al.* **Water Usage Optimization During Concrete Operations**. In: WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS, 2013, Cincinnati, Estados Unidos da América. **Proceedings...**. Cincinnati: ASCE, 2013. p. 3114 - 3121.
16. HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquífero**. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. Reúso da água. Barueri: Manole, 2003. Cap. 3, p. 37-95.
17. MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. Reúso da Água. Barueri: Manole, 2003. p. 4-19.
18. MEYER, Christian. **Sustainable Development and the Concrete Industry**. [S.l.]: CIB Bulletin, 2004. Disponível em: <[http://www.columbia.edu/cu/civileng/meyer/publications/publications/80\\_sustainable\\_development.pdf](http://www.columbia.edu/cu/civileng/meyer/publications/publications/80_sustainable_development.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2017.
19. MONTGOMERY, Douglas. C. **Design and Analysis of Experiments**. Nova York: John Wiley and Sons, Inc: 1997.
20. NEVILLE, A. **Water – Cinderella ingredient of concrete**. Concrete International Journal, Volume 22, p. 66-77. 2000.
21. SILVA, Marcia; NAIK, Tarun R.. **Sustainable use of resource – Recycling of sewage treatment plant water in concrete**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES, II, 2010, Ancona, Itália. **Proceedings...**. Ancona, Itália: SCMT, 2010. p. 1731 - 1740.
22. YILMAZ, A.B.; YAZICI, B.; ERBIL, M. **The effects of sulfate ion on concrete and reinforced concrete**. Cement and Concrete Research Journal, Volume 27. [S.l.], p. 1271-1279. 1997.